Моделирование работы скребкового конвейера в зоне поворота

Жетесова Г. С.¹, Бейсембаев К. М.^{1*}, Мендикенов К. К.¹, Телиман И. В.²,
Акижанова Ж. Т.¹

¹ Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, Республика Казахстан

² Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

*e-mail: kakim08@mail.ru

Реферат

Введение. Усложнение горно-геологических условий выемки пластов твердых минералов при подземной добыче приводит к снижению эффективности работ. Решение этих проблем заключается в создании короткозабойных технологий выемки, в основу которых положена работа поворотного скребкового конвейера.

Цель работы. На основе анализа работы одноцепного тягового органа, расположенного в центре рештаков, обеспечить устойчивое движение скребков при повороте става до 90° в плоскости пласта, разработать конструктивную схему конвейера, соответствующую принятым технологиям его работы.

Методология. Выполняется системный анализ конструкций и исследования движения тягового органа на основе моделирования с использованием метода линеаризации уравнений динамики в Adams, с анализом данных, полученных при испытаниях макетов поворотных конвейеров.

Результаты. Разработаны и обоснованы модель и механизм движения тягового органа со скребками при движении по шарнирно соединенным рештакам под углом до 15° , установлены конструктивные схемы узлов для зоны поворота, обеспечивающие устойчивость движения тягового органа и предотвращение просыпания транспортируемого материала. Это позволило разработать технические требования для проектирования, расчета и испытаний экспериментального образца конвейера, уточнить возможные области его применения.

Выводы. Установлена возможность создания эффективных моделей на основе линеаризации уравнений динамики в пакете Adams с учетом колебаний, возникающих в системе. Определены особенности движения скребков в зоне поворота, механизм гашения колебаний за счет «пары сил» на скребке тягового органа. Система эффективна при величине угла поворота на каждом рештаке до 15° . Выявлены конструктивные схемы поворотного скребкового конвейера с обеспечением устойчивого движения и перекрытия зазоров, возникающих при повороте секций, упругим сегментным отражателем.

Ключевые слова: моделирование; скребковый конвейер; зона поворота; линеаризация уравнений динамики.

Введение. Усложнение горно-геологических условий выемки пластов твердых минералов при подземной добыче приводит к снижению эффективности работ. Решение этих проблем заключается в создании короткозабойных технологий выемки, в основу которых положена работа поворотного скребкового конвейера с центрально расположенным тяговым органом, что решает задачу обеспечения поворота става на угол до 90° в плоскости пласта. В ранее применявшихся решениях для лав разворот става был возможен в одной зоне, что не позволяло применять его для камерных и короткозабойных технологий. Имелись решения, доведенные до производства в виде устройств с консольными скребками [1], однако

их прочность и производительность оказывалась недостаточной. Кроме того, следует создать механизм и теоретически обосновать устойчивость движения тягового органа с центральной цепью в многосекционном конвейере с прямолинейными шарнирно соединенными секциями, между которыми на стыках возможны зазоры. Использование таких конвейеров возможно для направления потоков транспортирования твердых минералов по 3–6 линиям, а также при разработке рудных месторождений в условиях ограниченного рабочего пространства и буровзрывных работ [2].

Рис. 1. Конструкция конвейера:

1, 4, 5 – борт; 6, 7 – направляющая; 2, 3, 8 – упругие секторные отражатели; 9 – шарниры; 10 – наклоненный скребок в зазоре стыка секций; 11, 12 – зазор между секциями и стяжка для поворота

Fig. 1. Constructions:

1, 4, 5 – board; 6, 7 – guide; 2, 3, 8 – elastic sector reflectors; 9 – hinges; 10 – inclined scraper in the gap between the sections; 11, 12 – gap between sections and gathering for a turning

Методы исследований. Выполнен системный анализ конструкций и разработана система уравнений движения последовательности скребков, соединенных цепью, с учетом их в среднем равномерного движения. Рассмотрены возможности исследования динамических процессов движения тягового органа при разгоне системы в начальный период и неравномерностей, связанных с зацеплением цепи в звездочке с учетом известных работ [3–5]. Математическая модель такого рода может быть рас-

смотрена на основе метода линеаризации уравнений динамики и реализована в программном пакете Adams, который позволил выбрать типовые объекты для моделирования скребков, секций, вращательных и вращательно-поступательных соединений, обеспечил возможность ввода массовых и инерциальных характеристик, особенностей движения моделируемых элементов. Это выполнялось с учетом анализа данных, полученных при испытаниях макетов поворотных конвейеров.

Рис. 2. Расчетная схема
Fig. 2. Design scheme

Описание конструкции. Рассматриваемое решение основано на патенте [2] (рис. 1). Для уменьшения высоты секций конвейера до стандартных при лавной и камерной выемке применены шарниры, разнесенные по бокам секций, один из шарниров соединяет борта двух секций с одной стороны, а с противоположной стороны вращательно-поступательный шарнир позволяет им разъединиться на необходимое для поворота на 15° расстояние (рис. 1). В экспериментах было зафиксировано, что прижатие скребков на повороте происходит к борту, ближнему от центра поворота, и сильнее у зоны стыка. Секции могут быть выполнены с односторонним или двухсторонним поворотом [2]. В первом случае конструкция существенно упрощается, но технологические схемы применения ограничиваются односторонней выемкой с основной выработки. Целью конструирования является обеспечение устойчивого движения скребков и предотвращение просыпания груза на стыках секции. Здесь могут образоваться зазоры, в которых возможно торможение скребков и недопустимый наклон, а с противоположной стороны – просыпание груза за пределы става. Решения на рис. 1, как показал теоретический анализ и испытания макетов, это предотвращают, а упругий секторный отражатель типа 8 предотвращает просыпание груза и уменьшает торможение скребков в зазорах стыка секций:

$$\Delta_1 = R_1 \operatorname{tg} \alpha, \quad (1)$$

$$\Delta_2 = R_2 \operatorname{tg} \alpha, \quad (2)$$

где Δ_1 и Δ_2 – зазоры соответственно со стороны ближнего и дальнего стыков секции от центра их поворота с радиусами R_1 и R_2 ; α – угол поворота секции.

Анализ и результаты исследований. При постоянной угловой скорости вращения звездочки привода движение цепи пульсирующее, что связано с изменением мгновенного радиуса набегания цепи и неравномерным характером транспортирования груза [3–5]. Для приводной массы конвейера m_k , диаметра звездочки D – передаточного отношения u_p , углового ускорения ε , среднего пускового момента двигателя $M_{п.ср}$, статического, приведенного к двигателю момента M_c , и момента инерции всех движущихся масс $J_{пр}$ усилие в цепи для использования в моделях:

$$S_{д.п} = m_k D \varepsilon / (2u_p); \quad (3)$$

$$\varepsilon = (M_{п.ср} - M_c) / J_{пр}. \quad (4)$$

По осциллограммам движения конвейера можно оценить мгновенные значения усилий, действующих на тяговые элементы приводной и концевой звездочки [4, 5]. Пусковой момент также характеризуется ускоренным движением цепи. Эти причины приводят к усталостному и фрикционному износу цепи. Так, для конвейеров марки СП при калибре цепи 18 x 64 он составляет от 5 до 8 мес. При разработке математических моделей тягового органа отмечается переход от математических моделей (ММ) в виде дифференциальных уравнений в частных производных к конечно-элементным моделям [3–5]. Рассматривают и ММ тягового органа с грузом в виде совокупности конечных элементов, обладающих упругими, диссипативными и инерционными свойствами. Модели имеют общие методические подходы и различаются в учете неравномерности движения цепи, вызываемой звездочками, особенностями учета влияния параметров электродвигателей [6–8]. Оценка динамики скребковых конвейеров производится экспериментальными замерами усилий в тяговых органах или компьютерной имитацией. Учет реальной скорости движения груза, данные в виде таблиц и графических зависимостей усилия на приводных и концевых звездочках позволяют подойти к моделированию возможных неравномерностей в пакетах динамического моделирования, в том числе и Adams [9–11], где производится линеаризация уравнений динамики, составленных для тел с заданными механическими и силовыми характеристиками с учетом выражений (1)–(4). В этом случае можно задавать нагрузки на начальном и конечном участке моделирования. Зная размеры

Рис. 3. Модель скребков:

1 – скребок; 2 – ушко; 3 – промежуточное звено; 4 – жесткая связь скребка и ушка; 5 – шарнирная (вращательная) связь; 6 – ползунно-вращательная связь с секцией; 7 – поступательный шарнир; 8 – вращательный шарнир

Fig. 3. Model of scrapers:

1 – scraper; 2 – eye; 3 – intermediate; 4 – hard connection scraper and ear; 5 – hinge (rotational) connection; 6 – translational-rotary connection with the section; 7 – translational joint; 8 – rotational hinge

(калибр) цепи, каждое звено можно моделировать отдельным механическим элементом, с учетом характеристик трения, имеющегося на контактах, при этом моделируется участок цепи и усилия на его границах. Это позволяет выявить: характеристическое поведение движения (автоколебания); амплитудные характеристики опорных усилий и усилия в тяговой цепи, возможности опрокидывания скребков.

Важным моментом анализа является сравнение некоторых характеристик с реальными при запуске макетов и детального просмотра движения скребков на видеофильмах. Далее приведены схемы и система уравнений для участка скребковой цепи, движущегося по секциям, соединенным друг с другом под углом. На прямолинейной части движения, за пределами поворотной зоны конвейера взаимодействие скребков с бортами минимально и его можно считать отсутствующим. При приближении к стыку секций между скребком и бортом секции за счет наклона цепи возникает сила реакции и соответственно сила трения. В пределах одной секции на скребок действуют силы натяжения цепей, опорные силы борта, действует сила трения между ними, учитываемые как при равномерном движении. Сила сопротивления транспортируемой массы компенсируется приращением значения величины натяжения цепи на каждом скребке, а сила инерции для конструктивной схемы бортов и скребка 7 возникает только во время разворота скребка при переходе с одной секции на другую. Сила трения приводит к нарушению перпендикулярности скребков борту. Их наклон убывает с удалением от зоны соединения секций, и скребок с номером q почти не отклоняется от нормали. Определение этих параметров для r скребков, на которые воздействуют известные силы T_1 ; T_{r+1} , возможно, если рассмотреть систему из трех уравнений, где неизвестные: α_k – угол отклонения скребка от нормали к секции; N_k – нормальная реакция на борт секции; T_{k+1} – натяжение цепи между k и $(k+1)$ скребками (рис. 2).

В зависимости от постановки вопросов исследования количество уравнений можно увеличить.

Условие равновесия скребка N_1 , (крайний левый):

$$\sum F_{ix} = -T_1 \cos v_1 + T_2 \cos v_2 - F_1 = 0;$$

$$\sum F_{iy} = -T_1' \sin v_1 + T_2 \sin v_2 + N_1 = 0;$$

$$\sum m_{01}(F_i) = T_1' \cos v_1 (h \cos \alpha_1 (h \cos \alpha_1 + (e/2) \sin \alpha_1) + T_1' \sin v_1 (h \sin \alpha_1 - (e/2) \cos \alpha_1) + \\ + T_2' \cos v_2 (h \cos \alpha_1 (h \cos \alpha_1 - (e/2) \sin \alpha_1) + T_2' \sin v_2 (h \sin \alpha_1 (h \cos \alpha_1 - (e/2) \sin \alpha_1) = 0.$$

Неизвестные в этих уравнениях T_2 , α_1 , N_1 , $\sin v_1 = (e/2)(\sin \alpha_1)/S$, а T_2' и T_2 равны по абсолютной величине; S – длина цепи, связывающая скребки; $2h$ – длина скребка; e – расстояние между центрами проушин.

Для скребка N_2

$$\sum F_{ix} = -T_2 \cos v_2 + T_3 \cos v_3 + F_2 = 0;$$

$$\sum F_{iy} = -T_2' \sin v_2 + T_3 \sin v_3 + N_2 = 0;$$

$$\sum m_{02}(F_i) = T_2' \cos v_2 (h \cos \alpha_2 + (e/2) \sin \alpha_2) + T_2' \sin v_2 (h \sin \alpha_2 - (e/2) \cos \alpha_2) + \\ + T_3 \cos v_3 (h \cos \alpha_2 - (e/2) \sin \alpha_2) + T_3' \sin v_3 (h \sin \alpha_2 + (e/2) \cos \alpha_2) = 0.$$

Неизвестные T_3 , α_2 , N_2 , $\sin \nu_2 = ((h \cos \alpha_2 + (e/2) \sin \alpha_2) - (h \cos \alpha_1 + (e/2) \sin \alpha_1))/S$, а T_3' и T_3 равны по абсолютной величине.

Аналогично определяются выражения для скребка N_3 и т. д. Возможен ввод сил инерции, которые определяются через ускорение.

Процесс перехода скребка с секции на секцию не моделируется ввиду разрывности вектора скорости центра скребка в этой зоне. Решение при движении с ускорением показывает возможности возникновения автоколебаний в системе. Наклон скребка приводит в действие выравнивающую систему за счет возникновения момента пары сил на ушках, с помощью которых скребки с обеих сторон крепятся к цепи. При решении в пакете Adams трение учитывалось не во всех случаях, и тогда сила, приводящая к наклону скребка, создавалась модельно.

В реальности трение имеет место и в зоне контакта звеньев цепи, прикрепленных к ушкам скребка, между звеньями цепи, между транспортируемой массой и дном секции, что сдерживает колебания. При моделировании учитывается связь между шагом расстановки звеньев цепи и скребков (рис. 3). Ранее рассматривались задачи с постоянной скоростью вращения приводной звездочки и движения цепи, которое в среднем равномерное, хотя вначале происходит разгон, а также неравномерности, связанные с особенностями набегания цепи. Поэтому на первое звено наложено усилие натяжения F_2 , а на последние F_1 . Кроме того, на правые концы скребков наложены возмущающие нагрузки F_3 , F_4 , F_5 , F_6 (рис. 4), которые имитируют силу трения скребка о секции или, например, одностороннюю нагрузку скребков.

Вначале рассмотрено движение скребков на прямолинейном участке конвейера без наклона секций, но и в этом случае можно оценить влияние конструктивных параметров скребка на возможности колебаний, если применить технологию Adams, используя для уточнений выражения (1)–(4). Действие возмущающей нагрузки на торец скребка вызывает его наклон, но этому препятствует возникающий при повороте скребка момент от пары сил со стороны передней и задней части конвейера на ушках скребка в точках крепления цепи. И чем больше поворот скребка, тем больше восстанавливающий момент. При моделировании, исходя из веса всех движущихся элементов и коэффициента трения 0,3, подбираем движущее усилие, обеспечивающее начальное движение в соответствии с опытными данными [1, 3, 5], минимальное тяговое усилие равно 3549 Н. Последовательно увеличивая количество скребков, можно установить их влияние на параметры движения. При отсутствии трения в шарнирах происходит раскачивание с восстановлением. Стало очевидным, что моделирование груза, имеющего вес скребка, нерационально, поскольку он имеет инерцию и при качании не сдерживается трением в ползуне и зонах крепления скребка и цепи, что в модели приводит к росту амплитуды колебаний. Первый этап моделирования показывает допустимость использованных объектов пакета. При натяжении до 1/3 от веса деталей и соответственном увеличении силы тяги становится очевидным, что колебания цепи уменьшаются. Такой же эффект имеем при увеличении плеча пары сил. При моделировании поворота секций использовались такие же элементы, установленные под заданным углом. Последний скребок при построении модели из-за несоответствия размеров находился в наклонном положении. На рис. 4 для секций, соединенных под углом (движение вниз без натяжения с силой тяги 3566 Н, гравитация направлена вверх), представлены кинограммы положений скребков. Затем натяжение увеличили до 2000 Н, но для обеспечения тяги прием его равным 2566. Во всех случаях при величине угла наклона секций до 15° опрокидывания скребков не происходило. Отсюда следует, что опорная сила на скребке, достигшем стыка, для конструктивной схемы конвейера в позиции 10

a

б

в

Рис. 4. Кинограммы колебаний скребков – а; распределение ускорений – б и сил – в (пакет Adams): верхний ряд кинограммы – с увеличением усилия натяжения от 400 до 2000 Н без наклона; нижний ряд – с наклоном секций при увеличении усилия натяжения от 0 до 2000 Н; 1–6 – силы F_1 – F_6 ; 7, 8 – ускорения на опоре ближнего к стыку скребка и опорная сила скребка 9

Fig. 4. Moving images of the scrapers vibrations – а; acceleration distributions – б and forces – в (Adams package):

the upper line of the moving images – with the increasing tension force from 400 to 2000 N with no inclination; the lower line – with sections inclination at the increase of the tension force from 0 to 2000 N; 1–6 – forces F_1 – F_6 ; 7, 8 – acceleration at the mount of the scraper nearest to the joint and the normal force of a scraper 9

рис. 1 при максимальном угле поворота секций может иметь существенно большие значения, чем на остальных, которые при расчете на Adams практически вырождаются. Это позволяет предложить конструкцию с боковыми пластинками (рис. 1, позиция 8). Параметры секций конвейера: $0,2 \times 0,6 \times 0,8$ м с углом поворота между соседними секциями до 15° . Уточнены некоторые детали устройства и методические элементы расчета для уменьшения зазора между секциями в зоне поворота (рис. 1), которые обеспечивают работоспособность конвейера. Установлены методические элементы моделирования особенностей движения скребков в статическом и динамическом режиме с учетом проверки механизма и обоснования обеспечения устойчивости движения скребков и работоспособного состояния тягового органа из круглозвенной цепи, силы, скорости и ускорения, действующие в зоне поворота, что позволило с применением [12] создать макет конвейера и методику расчета его работы, включая процесс ввода става в очистную выработку.

Заключение. Установлена возможность создания эффективных моделей на основе пакета Adams с учетом колебаний, возникающих в системе, и определены особенности движения скребков в зоне поворота, механизм гашения колебаний за счет «пары сил» на ушке крепления скребка к тяговому органу. Выявлены конструктивные схемы поворотного скребкового конвейера, обеспечивающие устойчивое движение скребков и перекрытие зазоров, возникающих при повороте секций на угол до 15° , который для многосекционного конвейера, с учетом неравномерности опорных сил между скребками и бортами секций, является предельно допустимым. Увеличение угла поворота возможно за счет минимизации зазора при шарнирной связи или применения устройств с упругим сегментным отражателем. Выполненные исследования позволили создать технические требования на проектирование и расчет поворотного конвейера, уточнить методику испытания экспериментального образца, уточнить заложенные конструктивные принципы и возможные области применения конвейера в горной промышленности.

Исследование выполнено по теме АР05134441 «Разработка, изготовление и испытание новой конструкции поворотного узла конвейера с поворотом грузопотока на угол до 90° градусов в плоскости почвы выработки для систем забойной выемки и криволинейных выработок». Выражаем благодарность Д. Е. Оразбекову, принявшему участие в написании работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жетесова Г. С., Бейсембаев К. М., Малыбаев Н. С. Разработка базовой технологии выемки ископаемого с поворотом конвейера // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2018. № 8. С. 37–49.
2. Бейсембаев К. М., Алпысов М. С., Демин В. Ф., Жетесов С. С., Курманов С. Т., Малыбаев Н. С., Мендикенов К. К., Шманов М. Н. Угловой скребковый конвейер: Евразийский патент № 024900; опубл. 31.10.2016. Бюл. Евразийской патентной организации № 10.
3. Marian Dolipski, Eryk Remiorz, Piotr Sobota. Dynamics of non-uniform loads of AFC drives // Arch. Min. Sci. 2014. Vol. 59. No. 1. P. 155–168.
4. Осичев А. В., Ткаченко А. А. Оценка влияния приводной звездочки на динамические усилия в рабочем органе скребкового конвейера СР72 // Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. 2009. Вип. 4 (57). Ч. 1. С. 10–13.
5. Marian Dolipski, Eryk Remiorz, Piotr Sobota. Determination of dynamic loads of spocket drum teeth and seats by means of a mathematical mode of the longwall conveyor // Arch. Min. Sci. 2012. Vol. 57. No. 4. P. 1101–1119.
6. Чугуев Л. И. Динамика конвейеров с цепным тяговым органом. М.: Недра, 1976. 160 с.
7. Кондрахин В. П., Зубова Ю. А., Ткаченко Е. Л. Многокритериальный подход к обоснованию алгоритма запуска многоприводного забойного скребкового конвейера с двухскоростными электродвигателями. URL: <http://masters.donntu.org/2014/fimm/zubova/library/VAK%6201.htm> (дата обращения 16.03.2019).
8. Zhetesova G. S., Beisembayev K. M., Mendikeno K. K., Malybayev N. S., Madikhanova A. B. Features of designing conveyor scrapers and chain turn zone during vibration // European Journal of Natural History. 2017. No. 5. P. 61–66.

9. Soleiman Nouri F., Haddad Zarif M., Fateh M. M. Designing an adaptive fuzzy control for robot manipulators using PSO // Journal of AI and Data Mining. 2014. Vol. 2. No. 2. P. 125–133.
10. Talli A. L., Kotturshettar B. B. Forward kinematic analysis, simulation & workspace tracing of anthropomorphic robot manipulator by using MSC // ADAMS. 2015. Vol. 4. No. 1. P. 18462–18468.
11. Ashok K. J., Partha P. R. Modeling and simulation of SCORA-ER14 robot in ADAMS platform // International Journal of Engineering and Technical Research. 2014. Vol. 2. July. P. 105–109.
12. Dodagoudar G. R., Rao B. N. & Sunitha N. V. A mesh free method for beams on elastic foundation // International Journal of Geotechnical Engineering. 2015. Vol. 9. No. 5. P. 298–306.

Поступила в редакцию 28 марта 2019 года

Сведения об авторах:

Жетесова Гульнара Сантаевна – доктор технических наук, профессор, проректор по стратегическому развитию Карагандинского государственного технического университета. E-mail: zhetesova@mail.ru

Бейсембаев Каким Манапович – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технологического оборудования, машиностроения и стандартизации Карагандинского государственного технического университета. E-mail: kakim08@mail.ru

Мендикенов Канат Кенжигалиевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информатики Карагандинского государственного технического университета. E-mail: mendikenov.k@mail.ru

Телиман Ирина Викторовна – аспирант кафедры горных машин и оборудования Уральского государственного горного университета. E-mail: ir4ik87_telbez@mail.ru

Акижанова Жанар Темирбаевна – старший преподаватель кафедры технологического оборудования, машиностроения и стандартизации Карагандинского государственного технического университета. E-mail: zhanar_1988@inbox.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2019-6-108-117

Modelling scraper conveyor operation in the turn zone

Gulnara S. Zhetesova¹, Kakim M. Beisembaev¹, Kanat K. Mendikenov¹, Irina V. Teliman², Zhanar T. Akizhanova¹

¹ Karaganda State Technical University, Karaganda, Republic of Kazakhstan.

² Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia.

Abstract

Introduction. More complex mining and geological conditions of solid minerals extraction during underground development result in the loss of work efficiency. The solution to the problems is in the creation of shortwall extraction technologies based on the swivel scraper conveyor operation.

Research aim. Based on the analysis of the single-chain traction unit operation situated in the centre of pans, research aims to provide steady movement of scrapers at ramp's turn up to 90° in the bedding plane, develop the constructive scheme of a conveyor which meets the accepted work technologies.

Methodology. System analysis of structures is carried out together with the traction unit movement study, based on the simulation with the method of dynamic equations linearization in Adams, with the analysis of data from swivel conveyor prototypes testing.

Results. The model and the movement mechanism of the tension unit with scrapers along the pin-connected pans at an angle up to 15° have been worked out and substantiated; constructive schemes of units for the turn zone have been identified, ensuring the stability of tension unit movement and the retention of the transported material within the limits of the rod. It has made it possible to develop the specification of requirement for the conveyor test model design, calculation and testing, and specify its scope.

Summary. The possibility of creating efficient models based on the linearization of dynamics equations in Adams package taking into account oscillations within the system. Features of scrapers movement in the turn zone and the mechanism of oscillations suppression by means of a "pair of forces" at the scraper of a traction unit have been identified. The system is effective under the angle of the turn up to 15° for each pan. Constructive schemes have been identified for a swivel scraper conveyor that ensure the steady movement of scrapers and overlap the gaps at the turns of the sections, with an elastic segmental reflector.

Key words: modeling; scraper conveyor; turn zone; linearization of dynamics equations.

Acknowledgements: Research has been carried out on AR05134441 "Development, production and trial run of a new conveyor turn block design with the turn at a corner up to 90 degrees in the mine ground plane for long-face systems and curved mines." We thank D. E. Orazbekov for taking part in writing the present research.

REFERENCES

1. Zhetesova G. S., Beisembaev K. M., Malybaev N. S. Development of the basic technology of mining production with 90° conveyor swing. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2018; 8: 37–49. (In Russ.)

2. Beisembaev K. M., Alpysov M. S., Demin V. F., Zhetesov S. S., Kurmanov S. T., Malybaev N. S., Mendikenov K. K., Shmanov M. N. Swivel scraper conveyor. Eurasian Patent no. 024900; 2016.
3. Marian Dolipski, Eryk Remiorz, Piotr Sobota. Dynamics of non-uniformity loads of AFC drives. *Arch. Min. Sci.* 2014; 59 (1): 155–168.
4. Osichev A. V., Tkachenko A. A. Estimating the effect of drive sprocket on the dynamic forces in the working body of a flight conveyor SP72. *Visnik KDPU imeni Mikhaila Ostrogradskogo = Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrogradskyi National University*. 2009; 4 (57; 1): 10–13. (In Russ.)
5. Marian Dolipski, Eryk Remiorz, Piotr Sobota. Determination of dynamic loads of sprocket drum teeth and seats by means of a mathematical model of the longwall conveyor. *Arch. Min. Sci.* 2012; 57 (4): 1101–1119.
6. Chuguev L. I. *The dynamics of the conveyors with chain drive unit*. Moscow: Nedra Publishing; 1976. (In Russ.)
7. Kondrakhin V. P., Zubova Iu. A., Tkachenko E. L. *Multicriteria approach to the justification of the start sequence for the armoured face conveyor with two speed motors*. Available from: <http://masters.donntu.org/2014/fimm/zubova/library/VAK%201.htm> [Accessed 16 March 2019]. (In Russ.)
8. Zhetesova G. S., Beisembayev K. M., Mendikenov K. K., Malybaev N. S., Madikhanova A. B. Features of designing conveyor scrapers and chain turn zone during vibration. *European Journal of Natural History*. 2017; 5: 61–66.
9. Soleiman Nouri F., Haddad Zarif M., Fateh M. M. Designing an adaptive fuzzy control for robot manipulators using PSO. *Journal of AI and Data Mining*. 2014; 2 (2): 125–133.
10. Talli A. L., Kotturshettar B. B. Forward kinematic analysis, simulation & workspace tracing of anthropomorphic robot manipulator by using MSC. *ADAMS*. 2015; 4 (1): 18462–18468.
11. Ashok K. J., Partha P. R. Modeling and simulation of SCORA-ER14 robot in ADAMS platform. *International Journal of Engineering and Technical Research*. 2014; 2 (July): 105–109.
12. Dodagoudar G. R., Rao B. N. & Sunitha N. V. A mesh free method for beams on elastic foundation. *International Journal of Geotechnical Engineering*. 2015; 9 (5): 298–306.

Received 28 March 2019

Information about authors:

Gulnara S. Zhetesova – DSc (Engineering), Professor, Vice-Rector for Strategic Development, Karaganda State Technical University. E-mail: zhetesova@mail.ru

Kakim M. Beisembaev – DSc (Engineering), Associate professor, professor of the Department of Technological Equipment, Engineering and Standardization, Karaganda State Technical University. E-mail: kakim08@mail.ru

Kanat K. Mendikenov – PhD (Engineering), Associate professor, associate professor of the Department of Informatics, Karaganda State Technical University. E-mail: mendikenov.k@mail.ru

Irina V. Teliman – PhD student of the Department of Mining Machinery and Complexes, Ural State Mining University. E-mail: ir4ik87_telbez@mail.ru

Zhanar T. Akizhanova – senior lecturer of the Department of Technological Equipment, Engineering and Standardization, Karaganda State Technical University. E-mail: zhanar_1988@inbox.ru

Для цитирования: Жетесова Г. С., Бейсембаев К. М., Мендикенов К. К., Телиман И. В., Акижанова Ж. Т. Моделирование работы скребкового конвейера в зоне поворота // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 6. С. 108–117. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-6-108-117

For citation: Zhetesova G. S., Beisembaev K. M., Mendikenov K. K., Teliman I. V., Akizhanova Zh. T. Modelling scraper conveyor operation in the turn zone. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 6: 108–117 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2019-6-108-117